

## ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ БУРИЛЬНЫХ МОЛОТКОВ

*Г. В. Топоров, В. Ф. Горбунов*

Долговечность бурильных молотков и сохранение у них в процессе эксплуатации параметров, характеризующих производительность, в значительной степени определяются выбором материала, из которого изготовлены детали, и технологией их изготовления. Существенное значение имеет также правильный выбор механических свойств металла (в частности твердости), обеспечивающих минимальный износ деталей и наибольшую стойкость против разрушения. Широко известно, что эксплуатационные свойства деталей зависят, кроме указанных, от ряда других факторов: структуры металла, чистоты поверхностей деталей и т. д.

Приведенный далеко не полный перечень важнейших факторов, оказывающих влияние на эксплуатационные свойства деталей, свидетельствует о сложности задачи выбора оптимальных их значений.

Вопрос усложняется еще тем, что очень часто изменение какого-либо фактора, благоприятно сказываясь на одних свойствах детали, одновременно ухудшает другие. Так, например, высокая поверхностная твердость детали, способствуя повышению износостойкости, снижает сопротивление разрушению при ударных нагрузках.

В настоящей работе сделана попытка на основе данных, полученных в результате исследования деталей бурильных молотков ряда заводов и фирм, а также использования литературных источников обосновать: 1) целесообразность применения тех или иных марок металлов для изготовления деталей современных конструкций бурильных молотков; 2) выбор параметров механических свойств (в частности твердости) деталей; 3) в некоторых случаях технологию упрочняющей обработки.

При выполнении работы нами использованы данные о деталях более двадцати различных бурильных машин, выпускаемых

как отечественными заводами, так и зарубежными фирмами. Эти данные заимствованы нами из материалов завода «Пневматика» и Малаховского экспериментального завода «Гипроуглемаш». Кроме того, нами совместно с работниками Центральной заводской лаборатории Томского электромеханического завода инженерами Э. Ф. Филатовой и Э. С. Ананьевой выполнено комплексное исследование деталей пяти бурильных молотков, включающее химический анализ и металлографическое исследование.

### Поршень-ударник

Поршень-ударник является одной из самых тяжело нагруженных деталей молотка. Он подвергается циклической ударной нагрузке, совершая удары торцевой частью об инструмент. Поверхность его изнашивается о сопрягающиеся детали: цилиндр, направляющую втулку, поворотную муфту и в некоторых конструкциях храповую буксу.

Таким образом, к этой детали предъявляются требования, с одной стороны, высокой износостойкости и, с другой, — значительного сопротивления ударно-усталостному разрушению.

Износостойкость детали, как правило, возрастает с повышением поверхностной твердости [1]. Сопротивление ударно-усталостному разрушению находится в сложной зависимости от твердости и определяется, как показали наши исследования [2], соотношением твердости и ударной вязкости. На сопротивление ударно-усталостному разрушению оказывает существенное влияние наличие концентраторов напряжения, связанных с конфигурацией детали и чистотой обработки. Чем тверже сталь, тем в большей степени проявляется чувствительность к концентраторам напряжения. Повышение твердости выше  $55 H_{Rc}$  почти для всех без исключения сталей приводит к снижению сопротивления ударно-усталостному разрушению. В то же время для обеспечения высокой износостойкости желательнее иметь твердость  $60—62 H_{Rc}$ .

Для одновременного удовлетворения требованиям высокой износостойкости и значительного сопротивления ударно-усталостному разрушению необходимо такое решение в отношении выбора твердости, которое, удовлетворяя главному требованию, не приводило бы к значительному ухудшению качества детали и с точки зрения других требований. Главным требованием в данном случае следует считать сопротивление ударно-усталостному разрушению, так как возникновение и развитие усталостной трещины приводит сравнительно быстро к окончательному выводу детали из строя.

На отечественных заводах поршень-ударник изготавливается из легированной цементируемой стали марок: 12Х2Н4, 18ХГТ, 12ХНЗ, 20Х. Глубина цементации колеблется в пределах от 1,1—

1,5 до 2,0—2,2 мм. Твердость поверхности в одних случаях имеет пределы 58—62  $H_{R_c}$  в других 55—60. Твердость сердцевины также меняется в широком диапазоне от 29 до 45  $H_{R_c}$ .

Некоторые зарубежные фирмы изготавливают поршни из углеродистой стали, соответствующей по химическому составу стали марок У12, У10, (Холман, Демаг, Атлас-Дизель), У8, У7 (М-11, ДК-60-1). Твердость поверхности в большинстве случаев колеблется в пределах  $H_{R_c}=59—62$ , реже 56—59. Как правило, детали не имеют сквозной проковки. Глубина слоя, закаленного на высокую твердость, составляет 2—4 мм. Твердость сердцевины колеблется в пределах 35—45  $H_{R_c}$ .

Закаливающиеся легированные стали применяются в молотках Т-10 (Финляндия). Сталь эта близка по химическому составу марке 6ХВ2С. Твердость поршня, изготовленного из этой стали, колеблется в пределах 53—58  $H_{R_c}$ .

Рассматривая вопрос о целесообразности применения той или иной марки стали, следует учитывать, что во многих случаях выбор марки определяется, помимо общих свойств металла, конфигурацией детали и технологией изготовления.

Применение углеродистой стали для изготовления поршней-ударников является не лучшим решением вопроса выбора марки стали по следующим причинам. Закалка для получения высокой твердости, до которой закаливают поршни, должна производиться в воде (или через воду в масле). При сложной конфигурации детали и наличии надрезов это сопряжено с возможностью появления закалочных трещин [3]. Сталь У10, У12, закаленная на высокую твердость, обладает довольно хорошей износостойкостью, но в то же время и значительной чувствительностью к надрезам при ударно-циклической нагрузке.

Легированная цементируемая сталь типа 12Х2Н4 хорошо зарекомендовала себя при изготовлении поршней-ударников, обеспечивая хорошую износостойкость и сопротивление ударно-усталостному разрушению. Существенным недостатком применения этих сталей следует считать усложнение технологии изготовления деталей за счет введения операции цементации.

Следует указать, что применение сплошной цементации всей поверхности, а не только мест, которые подвергаются износу, по нашему мнению, нецелесообразно. Цементированный слой в местах наибольших напряжений, чаще всего не подвергающихся износу, будет слабее сопротивляться ударно-усталостному разрушению, чем закаленный основной металл.

Применение закаливающихся легированных конструкционных сталей во многих случаях является более удачным решением вопроса. Применение легированных сталей типа 6ХВ2С, 5ХВ2С, 40ХН и т. п. обеспечивает при твердостях порядка 50—55  $H_{R_c}$  высокую стойкость против ударно-усталостного разрушения и достаточное сопротивление износу.

В тех случаях, когда места детали, подвергающиеся износу, не испытывают высоких напряжений под влиянием ударной циклической нагрузки, целесообразнее всего использовать хромоникелевые стали с содержанием 0,3—0,5% С. Детали следует цементировать, защищая от науглероживания места, не подвергающиеся износу. После закалки и низкого отпуска мы получим твердость цементированных участков 60—64  $H_{Rc}$ , а нецементированных около 46—52  $H_{Rc}$ . Твердость нецементированных участков будет оптимальной в смысле сопротивления ударно-усталостному разрушению, а твердость цементированных участков лучшей с точки зрения износостойкости.

Последний вариант выбора марки стали и технологии термической обработки использован в молотке «Медон» (Франция), где поршень-ударник изготовлен из стали, соответствующей марке 37ХНЗ. Поршень подвергался цементации, последующей закалке и, судя по твердости, низкому отпуску. Твердость поверхности 58—59, сердцевины 51  $H_{Rc}$ .

Для уменьшения влияния концентраторов напряжения на сопротивление ударно-усталостному разрушению возникает необходимость иметь чистоту обработки поверхности детали порядка  $\nabla\nabla\nabla 9$ .

### Цилиндр

Цилиндр бурильного молотка в процессе работы подвергается главным образом изнашиванию со стороны поршня. Вибрационная нагрузка, которую испытывает цилиндр, передается через сопряженные детали, подвергающиеся циклической ударной нагрузке. Величина этой нагрузки невелика, так как основной причиной выхода детали из строя является износ.

В большинстве случаев цилиндры для молотков изготавливаются литьем из малоуглеродистых сталей, с содержанием углерода 0,15—0,20%. Очень часто сталь легируется хромом до 1% или хромом и молибденом.

Для повышения износостойкости цилиндры подвергают цементации на глубину 0,8—1,5 мм с последующей закалкой и низким отпуском. Твердость цементационного слоя колеблется в пределах 58—62  $H_{Rc}$ .

Легирование хромом (и молибденом) диктуется главным образом тем, что в этом случае создается возможность получить высокую твердость цементированного слоя при закалке в масле. Для получения такой же твердости углеродистой стали ее необходимо закалывать в воде.

Введение молибдена в небольших количествах способствует получению наследственно-мелкозернистой стали [4], что позволяет производить закалку непосредственно после нагрева при цементации. Учитывая сравнительно невысокую ударную нагрузку на цилиндр и дефицитность молибдена, введение его в состав стали,

предназначенной для изготовления цилиндров, не может настоятельно рекомендоваться.

В молотках Т-10 цилиндр изготовлен из серого чугуна примерно следующего химического состава: 3,30% С; 1,80% Si; 0,88% Mn; 0,039% S; 0,12 P. Металлическая основа имеет перлитную структуру с равномерным расположением включений фосфидной эвтектики в виде сетки. Графитные включения имеют небольшие размеры и располагаются в виде колоний значительной степени изолированности. По структуре чугун предположительно может быть отнесен к марке СЧ24-44.

Чугун с точки зрения антифрикционных свойств имеет преимущество по сравнению со сталью в условиях работы при небольших удельных давлениях и при ограниченной смазке [5, 6].

От широкого внедрения чугуна для изготовления цилиндров может удерживать только опасение поломок от внешних ударов во время эксплуатации молотков или при их транспортировке. В связи с этим следует считать целесообразным для некоторых конструкций молотков изготовление цилиндров из ковкого или высокопрочного чугунов [7, 8, 9].

Из стальных литых цилиндров нам представляется наиболее целесообразным изготовление их из стали Л20Х. После цементации в поверхностном слое, как указывалось, можно получить твердость 60—62  $H_{Rc}$  при закалке в масле. Закалка в масле позволяет избежать повышенного брака по закалочным трещинам, особенно, если цилиндр имеет сложную конфигурацию.

### Храповая букса

Храповая букса работает в паре с храповой собачкой и в некоторых конструкциях сопрягается со шлицевой частью штока поршня. Основные требования, предъявляемые к этой детали, — высокая износостойкость и хорошее сопротивление разрушению от ударов, которые возникают между буксой и сопрягающимися деталями. Букса должна иметь высокую твердость — высокое сопротивление пластической деформации, так как изменение формы мест, сопрягающихся с собачкой, в результате износа или пластической деформации приведет к ненадежности работы поворотного узла.

Основной сталью, из которой изготавливается храповая букса большинством заводов у нас и за рубежом, является сталь 20Х. Значительно реже используется хромоникелевая сталь 12ХН2 и стали типа 18ХГТ, 18ХГМ. В американских молотках, кроме стали типа 18ХГМ, применяется малоуглеродистая сталь, соответствующая марке 15. Букса в молотке RH-754 изготавливается из эвтектоидной стали типа ШХ15, а во французском молотке «Медон» из стали марки 37ХН3.

Твердость цементированного слоя колеблется в пределах 58—63  $H_{Rc}$ , в некоторых случаях заводы изготавливают буксы с

твердостью 55—58  $H_{R_c}$ . Глубина цементации буксы большинством заводов устанавливается 1,0—1,2 мм. Однако в некоторых случаях глубина цементации назначается и ниже 0,7—1,0, иногда, наоборот, выше 1,2—1,5 мм.

Учитывая, что храповая букса испытывает большие удельные давления, особенно в тех случаях, когда усилие воспринимается одной из двух или четырех собачек, необходимо обеспечить достаточную твердость металла, лежащего под слоем цементации. Поэтому более целесообразно применять сталь 20X или, еще лучше, 18XГТ.

При применении для храповой буксы стали ШХ15 можно получить твердость при закалке в масле 61—63  $H_{R_c}$  при сквозной прокаливаемости. Форма детали вызывает необходимость принимать при закалке меры предосторожности, чтобы избежать возникновения трещин. Поэтому буксы, изготовленные из стали ШХ15, для уменьшения внутренних напряжений следует подвергать ступенчатой закалке.

Сталь ШХ15 обладает значительно худшей обрабатываемостью, чем сталь 20X, что приведет к некоторому удорожанию механической обработки.

Сравнительно низкая стоимость и недефицитность стали 20X при удовлетворительных технологических и эксплуатационных свойствах служит основанием для рекомендации этой стали в качестве основной при изготовлении храповых букс.

Требование высокой износостойкости, высокого сопротивления пластической деформации при наличии значительных удельных давлений обуславливает необходимость получения высокой твердости в поверхностных слоях храповой буксы. Следует рекомендовать твердость не менее 59  $H_{R_c}$ . При применении для буксы стали 20X или 18XГТ такая твердость будет гарантироваться закалкой в масле.

При назначении глубины цементации необходимо учитывать размеры детали. Вполне естественно, что при соответствующей нагрузке большие по размеру детали должны иметь большую глубину цементации.

### Храповая собачка

К этой детали предъявляется требование, главным образом, высокой износостойкости, хотя она и подвергается одновременно ударной нагрузке.

Собачка изготавливается из заэвтектоидной легированной стали типа ХВГ, ШХ15, ХГ или из цементируемых легированных сталей: 12ХН3, 12ХН2, 12Х2Н4, 20ХГ, 20Х.

При изготовлении собачек из сталей первой группы их закаливают до твердости 56—62  $H_{R_c}$ , иногда твердость снижают до 50—55  $H_{R_c}$ .

При применении цементируемых сталей глубина цементации назначается в пределах 0,7—1,2 или 1,4—1,6 мм. Твердость колеблется в интервале 55—63  $H_{R_c}$ .

С точки зрения износостойкости, применение цементируемой стали не имеет преимуществ перед закаливающимися сталями указанных выше типов. В то же время применение цементируемой стали несколько усложняет технологический процесс обработки вследствие дополнительной операции — цементации.

Сопротивление разрушению от удара деталей, изготовленных из цементируемых сталей, зависит от прочности цементированного слоя и свойств сердцевины.

По данным Л. С. Мороза и С. С. Шуракова [11], в цементированных образцах, имеющих достаточно твердую сердцевину, сопротивление разрушению при ударе значительно выше, чем у образцов, имеющих такой же цементированный слой (по глубине и свойствам), но мягкую сердцевину. В образцах с одинаковыми свойствами сердцевины большим сопротивлением удару будет обладать тот образец, у которого выше прочность цементированного слоя.

Исходя из этих представлений, применение цементируемой стали, легированной одновременно хромом и никелем, обеспечивающими повышение прочности цементированного слоя и сердцевины, может быть оправдано. Применение же стали марок 20X, 20XГ для изготовления храповых собачек менее целесообразно, чем стали марок ШХ15, ХГ, ХВГ, так как по стойкости против истирания и по сопротивлению разрушению от ударов они никаких преимуществ по сравнению с последними не имеют, а технология обработки деталей из них значительно сложнее.

### Геликоидальный (храповый) стержень

Характер нагрузки геликоидального стержня в процессе работы бурильного молотка во многом сходен с нагрузкой, которую испытывает храповая букса. Кроме того, стержень испытывает напряжение скручивания. Сложность конфигурации этой детали и тяжелая нагруженность вызвали необходимость применения для ее изготовления легированной цементируемой стали, обладающей высокой прочностью.

Широкое применение как в отечественной, так и в зарубежной практике получили хромоникелевые стали типа 12ХН2, 12Х2Н4. Довольно часто используются для изготовления стержней стали типа 18ХГТ, 18ХГМ и 20Х. В США используются стали с содержанием 3% Ni и около 0,25% С, а также стали, легированные марганцем.

Глубина цементации стержней почти во всех бурильных машинах колеблется в пределах 0,8—1,2 мм. Некоторые заводы допускают замену цементируемых сталей закаливающимися, например, 40Х, с твердостью поверхностного слоя детали 49—50  $H_{R_c}$ .

Твердость цементированного слоя стержня в большинстве бурильных машин составляет 58—63  $H_{R_c}$ . В некоторых машинах твердость стержней снижена до 55 и даже до 51—55  $H_{R_c}$  (JB-4)

Применение нецементируемых (закаливающихся) конструкционных сталей типа 40X нецелесообразно. После закалки они не дают необходимой твердости, не обеспечивают тем самым требуемой износостойкости.

Наиболее подходящими для изготовления геликоидальных стержней следует считать стали типа 12ХН2 (12Х3Н4) или 18ХГТ, как удовлетворяющие высокой износостойкости и прочности. Вполне достаточной глубиной цементации при применении рекомендуемых сталей (12ХН2, 18ХГТ) следует считать 0,7—0,9 мм.

Твердость цементированного слоя, удовлетворяющая требованиям высокой износостойкости и достаточного сопротивления ударному разрушению, должна быть в пределах 59—62  $H_{R_c}$ .

Технология цементации и последующей термической обработки должна быть построена с расчетом получения в поверхностных участках заэвтектоидной концентрации углерода, но с равномерным распределением карбидов. Наличие цементитной сетки резко снижает сопротивление детали разрушению при ударе.

### Верхняя часть поворотной буксы

Верхняя часть поворотной буксы испытывает нагрузку, аналогичную нагрузке геликоидального стержня. Во внутренней части имеются шлицы, сопрягающиеся со штоком поршня. На торцовой части выступами букса сочленяется с нижней частью, которая часто именуется патроном поворотной буксы. Верхняя часть буксы работает главным образом на износ, но одновременно подвергается и ударной нагрузке в местах сочленения, а в отдельных элементах деталь работает на срез.

Для изготовления поворотной буксы используются самые разнообразные материалы. У большинства бурильных машин буксы изготавливаются из цементруемых легированных сталей: 20X, 12ХН2, 12Х2Н3, 18ХГТ, 20ХГ, а в молотке RH-754 из стали 20 и бронзы (BrOЦ4-3).

Очень редко детали изготавливаются из стали У10. В английских и финских молотках верхняя часть поворотной буксы изготавливается из бронзы. В финских молотках используется оловянистая бронза, соответствующая марке BrO-10.

Глубина цементации у различных молотков при применении цементруемых сталей колеблется в широком диапазоне. В молотках, выпускаемых заводом «Пневматика», глубина цементации 0,5—1,0 мм. В молотке RH-754 — 0,6÷0,7 мм. Такую же глубину цементации имеет букса молотка JB-4. Буксы молотков других заводов и фирм имеют глубину цементации 1—1,5 мм.



Твердость поверхностного слоя буксы у большинства молотков задана в пределах 58—62  $H_{R_c}$ . По данным завода «Пневматика», фирма «Демаг» выпускает молотки с твердостью букс порядка 52—53  $H_{R_c}$ .

При изготовлении поворотной буксы из стали следует отдать предпочтение цементируемым легированным сталям перед закаливающимися типа У10. Для получения требуемой для данного случая твердости изделие из стали У10 необходимо закалывать в воде или через воду в масле. И в том, и в другом случае ввиду довольно сложной конфигурации детали возможно образование закалочных трещин и коробление. Применение нелегированных цементируемых сталей нецелесообразно по тем же причинам. Из цементируемых легированных сталей лучшими следует считать хромоникелевые стали или стали типа 18ХГТ. Препятствием для их применения может быть более высокая их стоимость по сравнению со стоимостью стали 20Х и несколько худшая обрабатываемость.

Применение бронзы для изготовления поворотных букс (верхних частей их) может оправдываться более высокими ее антифрикционными свойствами. Учитывая, что трение буксы о сопрягающиеся детали производится в условиях недостаточной смазки, применение бронзовых букс с точки зрения антифрикционных свойств может быть целесообразным.

Применение бронзы для изготовления верхней части поворотной буксы вызывает некоторое усложнение при конструктивном решении сочленения с нижней частью буксы.

Учитывая дефицитность цветных металлов, особенно олова, нет настоящей необходимости рекомендовать бронзу в качестве материала для изготовления этих деталей. Если для уменьшения коэффициента трения все-таки использовать бронзу, то оловянистая бронза для подобных деталей вполне может быть заменена алюминиевожелезистомарганцовистой бронзой.

При применении для изготовления букс легированных цементируемых сталей (хромоникелевых или типа 18ХГТ) следует рекомендовать глубину цементации порядка 0,7—1,0 мм. При меньшей глубине цементации в случае небольшого износа возможна пластическая деформация слоев металла, лежащих ниже слоя цементации, что приводит почти всегда к разрушению цементационного слоя, а затем к интенсивному износу.

Назначать твердость цементированного слоя ниже 58  $H_{R_c}$  нецелесообразно, тем более, что получение такой твердости не вызывает технологических затруднений и благоприятно сказывается на износостойкости.

### **Нижняя часть поворотной буксы (патрон поворотной буксы)**

Нижняя часть поворотной буксы является весьма нагруженной деталью. Внутренняя поверхность буксы, сопрягающаяся с

хвостовиком бура, подвергается износу при значительных давлениях в некоторых местах и в условиях, когда между трущимися поверхностями могут попадать абразивные частицы. Большие по величине давления возникают главным образом на концах буксы при нарушении соосности молотка и бура.

Эти давления передаются частично и на наружную поверхность буксы. Букса испытывает и значительную динамическую нагрузку при ударе ее торцевой части о бурт бура.

На отечественных заводах для изготовления нижней части поворотной буксы используются главным образом цементируемые хромоникелевые стали (12ХН2, 12Х2Н4, 12ХН3). Исключение составляет завод «Коммунист», который в молотке ПРС-3 изготавливает буксу из стали 18ХГТ.

В машинах зарубежных фирм буксы изготавливаются и из цементируемых легированных сталей, соответствующих марке 12Х2Н4 («Холмэн») и из углеродистых инструментальных типа У10 (США).

В машинах Гарднер-Денвер букса изготавливается из стали, соответствующей марке 5ХГМ. Букса молотка Т-10 изготавливается из стали, соответствующей марке быстрорежущей стали Р18. В молотке РН-754 применяется углеродистая цементируемая сталь, соответствующая марке 20.

При цементации нижней части поворотной буксы различными заводами назначается далеко не одинаковая глубина цементации. Завод «Пневматика» изготавливает буксы с глубиной цементации 0,8—1,3 мм, завод «Коммунист» 1,4—1,7 и 1,1—1,4 мм. В некоторых случаях глубина цементации достигает 2 мм (КЦМ-4, JB-4, РН-754).

Поверхностная твердость буксы почти во всех молотках составляет 58—62  $H_{Rc}$ , а у молотка ПМ-508 до 55  $H_{Rc}$ .

Применение для изготовления нижней части буксы большинством заводов хромоникелевых цементируемых сталей вполне оправдывается практикой эксплуатации машин. Эти стали обладают достаточной износостойкостью цементационного слоя и высоким сопротивлением разрушения при ударе.

Большой интерес представляет использование быстрорежущей стали Р18 для изготовления буксы в молотке Т-10. Наличие большого количества карбидов в этой стали обеспечивает высокое сопротивление изнашиванию, значительно большее, чем у цементируемых сталей. Опыт применения быстрорежущей стали указывает на возможность использования сталей, которые широко применяются для изготовления вырубных штампов, типа Х12Ф и Х12.

Сталь типа 5ХГМ, применяемая в США, обеспечивает высокое сопротивление ударному разрушению, но она менее износостойка из-за пониженного содержания углерода.

Учитывая высокие давления на отдельных местах буксы, следует рекомендовать глубину цементации не менее 1 мм. Для мощных машин целесообразно иметь глубину цементации в пределах 1,5—2 мм при твердости порядка 58—62  $H_{R_c}$ .

### Геликоидальная гайка (спиральная гайка)

В процессе работы молотка геликоидальная гайка подвергается главным образом изнашиванию по шлицевой ее части, сопрягающейся с геликоидальным стержнем или штоком поршня-ударника.

В бурильных машинах отечественных заводов для изготовления гайки широко используется сталь 45. Гайка в этом случае подвергается закалке и отпуску, в результате которых получают твердость, различную для разных машин. Завод «Пневматика» выпускает машины, твердость гаек у которых колеблется в пределах 24—28  $H_{R_c}$ . Гайки машин завода «Коммунист» имеют твердость 42—48  $H_{R_c}$ .

В ряде машин применяются для изготовления гайки цементруемые стали: в ПТ-30 = 20Х (глубина цементации 1,1—1,4 мм, твердость 44—48  $H_{R_c}$ ) фирмой Демаг используется сталь типа 15Х (глубина цементации 0,8 мм, твердость 58—60  $H_{R_c}$ ).

Большая группа заводов и фирм использует для изготовления геликоидальной гайки бронзу различных марок. Кыштымский завод применяет бронзу БрОФ10-1, Ижевский БрО-10. Из таких же марок изготавливают гайки в Финляндии и США. В молотке RH-754 применяется бронза БрОЦ4-3, а в молотке «Холмэн» — бронза с содержанием олова около 8%.

Применение для изготовления геликоидальной гайки цементруемых сталей, при условии закалки их на твердость ниже 50  $H_{R_c}$  нецелесообразно.

Если пониженная твердость геликоидальной гайки назначается из соображений уменьшения износа сопрягающейся детали, то следует указать, что в большинстве случаев, наоборот, уменьшение твердости одной из трущихся деталей вызывает повышение износа другой. Исходя из этого положения, можно также считать малообоснованным изготовление геликоидальных гаек из стали 40—45 с твердостью 24—28  $H_{R_c}$  и даже 42—28  $H_{R_c}$ . Более рациональным следует считать использование цементруемых сталей с поверхностной твердостью детали не менее 58  $H_{R_c}$ .

Бронзы, особенно с высоким содержанием олова, типа БрО-10 или БрОФ10-1, обладают очень высокими антифрикционными свойствами и обеспечивают при работе низкий коэффициент трения и минимальный износ сопрягающихся деталей. Бронзы типа БрОЦ4-3 обладают худшими антифрикционными свойствами, более пластичны по сравнению с высокооловянистыми бронзами. Так как у них отсутствуют в структуре твердые составляющие.

типа  $(\alpha + \delta)$  эвтектики, характерные для высокооловянистых бронз, то износостойкость их значительно ниже.

Вместо дефицитной высокооловянистой бронзы для изготовления геликоидальной гайки могут рекомендоваться алюминиевые бронзы типа БАЖМ [10].

### Золотник

К золотнику предъявляются требования высокой износостойкости и сопротивления разрушению под действием ударной циклической нагрузки. Золотник в процессе работы должен сохранить точное прилегание к сопряженным деталям. Нарушение этого условия может повлечь за собой резкое снижение технических характеристик молотка или выход его из строя.

Отечественные заводы для изготовления золотника используют главным образом легированные цементируемые стали 12ХН2, 12ХН3 и 18ХГТ. Инструментальная легированная сталь ХВГ применяется для золотников в двух молотках: ПР-30ЛБ и КЦМ-4.

Из зарубежных фирм сталь типа ХВГ используют в молотке JB-4.

Золотники из стали типа ШХ15 и ХГ применяются в молотке RH-754 и Гарднер-Денвер. Фирма Демаг изготавливает золотники из стали типа 30ХГ, закаливая их до твердости  $45 H_{R_c}$ . Другие зарубежные фирмы применяют цементируемые хромистые или никельмолибденовые стали.

При применении цементируемых сталей для изготовления золотника у большинства молотков глубина цементации колеблется в пределах 0,5—0,8 мм. У молотков РПМ-17 и ОМ-506л глубина цементации равна 0,3—0,5 мм.

Твердость цементированного слоя после термической обработки золотников в молотках, выпускаемых заводом «Коммунист», находится в пределах 56—59  $H_{R_c}$ , а заводом «Пневматика» — 56—62  $H_{R_c}$ .

Выбор марки стали для золотника определяется не только условиями, в которых работает эта деталь, но и ее конструкцией. Пластинчатые золотники целесообразно изготавливать из инструментальных легированных заэвтектоидных сталей типа ХВГ, Х и т. п. При изготовлении фланцевых или цилиндрических золотников применение цементируемых легированных сталей дает снижение трудоемкости механической обработки за счет лучшей обрабатываемости этих сталей по сравнению с заэвтектоидными, однако при этом усложняется термическая обработка введением дополнительной трудоемкой операции—цементации.

Конструкция золотников такова, что они, как правило, имеют тонкие стенки, и цементационный слой составляет иногда половину их толщины. При таком соотношении толщин цементацион-

ного слоя и сердцевины последняя не оказывает положительного влияния на увеличение ударной вязкости детали.

С точки зрения износостойкости цементируемые детали не имеют преимуществ в сравнении с деталями, изготовленными из закаливающихся инструментальных легированных сталей.

Таким образом, по эксплуатационным свойствам золотники, изготовленные из цементируемых или закаливающихся сталей, можно считать равноценными. Вопрос выбора между цементируемыми и закаливающимися сталями поэтому решается главным образом технологическими удобствами изготовления детали.

Следует считать нерациональным назначение твердости золотника ниже 57—58  $H_{R_c}$ . При несложной форме золотника и отсутствии концентраторов напряжений вполне допустима твердость 62—63  $H_{R_c}$ .

### Корпус золотниковой коробки

Корпус золотниковой коробки испытывает в процессе работы молотка нагрузку, аналогичную нагрузке золотника. Эта деталь во многих конструкциях молотков имеет сложную форму и обладает значительной трудоемкостью при ее изготовлении.

Для изготовления корпуса золотниковой коробки как в отечественных, так и в зарубежных молотках используются цементируемые легированные стали 12ХНЗ, 18ХГТ, 20Х, 18ХГМ. Однако фирма «Демаг» применяет углеродистую сталь типа 20. Глубина цементации колеблется в пределах 0,5—0,8, 0,8—1,2 мм (в молотках РН-754 и ПР-30ЛБ) или даже 1—1,5 до 2 мм (в молотке КЦМ-4).

Поверхностная твердость корпусов золотниковых коробок молотков, выпускаемых заводом «Коммунист» составляет 56—59  $H_{R_c}$ . Завод «Пневматика», выпускающий молотки РПМ-17, ОМ-506Л, ПР-30ЛБ, изготавливает корпуса с твердостью 65—62  $H_{R_c}$ . У большинства зарубежных фирм твердость корпусов колеблется в пределах 57—63  $H_{R_c}$ .

Для молотков, корпус золотниковой коробки которых имеет сложную конфигурацию, применение цементируемых легированных сталей для его изготовления является целесообразным.

Корпуса простой формы могут изготавливаться из закаливающихся инструментальных сталей, легированных хромом (или хромом, вольфрамом, марганцем) типа Х, ХВГ.

При применении цементируемых сталей, учитывая необходимость получения высокой твердости цементированного слоя при закалке в масле, следует рекомендовать легированные стали. Вполне удовлетворительные результаты в работе показывают корпуса золотниковой коробки, изготовленные из стали 20Х. Эта сталь может быть рекомендована для изготовления подобных деталей.

Глубина цементации корпусов почти для всех конструкций может быть принята 0,5—0,7 мм. Лучшие результаты с точки зрения износостойкости и других служебных свойств дает применение нитроцементации, так как при этом повышается и износостойкость и предел усталости.

Твердость корпуса золотниковой коробки должна быть в пределах 58—62  $H_{RC}$ . Меньшая твердость приведет к довольно быстрой выработке в местах сопряжения с золотником.

### Ствол

Ствол подвергается главным образом износу со стороны поворотных букс и циклической ударной нагрузке, которая передается через сопрягающиеся детали.

Стволы изготавливаются преимущественно путем отливки из малоуглеродистых сталей с содержанием около 0,2% С и около 1% Cr. Нелегированные малоуглеродистые стали типа Л15 применяются фирмами «Атлас-Дизель», «Демаг», «Медон» и в отечественных молотках ПР-35 и ТП-4.

Некоторые заводы и фирмы используют для стволов стали, легированные хромом и никелем или никелем и молибденом. Так, в молотке КЦМ-4 применяется сталь, соответствующая марке 12ХН2. У молотков фирмы «Холман» ствол изготавливается из стали, соответствующей марке 20НМ.

Глубина цементации у стволов большинства молотков колеблется в пределах 0,8—1,3 мм. Твердость цементированной поверхности стволов почти у всех молотков, данными о которых мы располагаем, находится в пределах 58—62  $H_{RC}$ .

Применение для стволов цементуемых сталей продиктовано необходимостью иметь высокую твердость внутренней поверхности ствола и общую высокую вязкость, предотвращающую поломку ствола под действием внешних ударов. Для получения необходимой твердости нелегированных цементированных сталей требуется закалка деталей в воде, что может вызвать возникновение дефектов (трещины, коробление).

Легирование хромом позволяет получить высокую твердость цементированного слоя при закалке в масле.

Применение сталей, легированных другими элементами, кроме хрома, не вызывается большой необходимостью, поэтому основной маркой, которая может быть рекомендована, является Л20Х.

Учитывая, что нарушение соосности между молотком и буром вызывает высокое нагружение отдельных мест поворотной буксы, которое передается на ствол, глубина цементации ствола должна быть не менее 1 мм. Довольно большая глубина цементации необходима еще и потому, что при относительной массивности ствола твердость сердцевины после закалки получается не-

высокой. Пластическая же деформация сердцевины под цементированным слоем может привести к разрушению слоя цементации.

Твердость цементированного слоя у стволов целесообразно иметь не ниже  $58 H_{Rc}$ .

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многообразие форм одноименных деталей, различие по величине их нагрузок и до некоторой степени условий, в которых они работают, не позволили во всех случаях конкретизировать рекомендации по выбору для них материала и твердости. В ряде случаев были высказаны только общие положения, которые в той или иной степени могут помочь решить вопрос о выборе материала для конкретных деталей.

Необходимо заметить, что при решении вопроса о выборе материала и назначении технологии упрочняющей обработки детали не всегда следует стремиться к наибольшей долговечности данной детали, более важно добиться обеспечения максимального срока службы узла или машины в целом. При этом иногда следует пойти на уменьшение срока службы данной детали с тем, чтобы увеличить долговечность сопряженных деталей.

При рассмотрении вопроса прочности деталей, исходя из механических свойств, следует учитывать, что характеристики механических свойств различных металлов получаются на стандартных образцах. Для того, чтобы перейти от характеристик свойств материала, полученного на образцах, к характеристикам этих свойств при изготовлении конкретной детали, необходимо знать ряд переходных зависимостей, учитывающих влияние различных факторов (масштабный фактор, температурный и другие).

При рекомендации значений твердости одноименных деталей и глубины цементации их не всегда можно указать общую технологию обработки, обеспечивающую получение нужных параметров. Рассмотрение же технологии упрочняющей обработки каждой детали было бы весьма частным решением, поэтому мы сочли более целесообразным ограничиться общими рекомендациями.

При разработке технологии необходимо учитывать, что в процессе нагрева под закалку или отжига деталей, не подвергающихся последующей механической обработке, возможно снижение качества деталей за счет обезуглероживания поверхностного слоя. Особенно опасно наличие обезуглероженного слоя у деталей, подвергающихся циклической ударной нагрузке или износу. Следовательно, технология должна предусматривать для таких деталей нагрев в условиях по возможности меньшего окисления. Процесс окисления, помимо обезуглероживания, вызывая образование окалина, ухудшает чистоту поверхности, что также в значительной степени снижает сопротивление усталостному разрушению.

При разработке технологического процесса цементации следует отдать предпочтение газовой цементации перед цементацией на твердом карбюризаторе. Однако почти для всех деталей еще лучшие результаты могут быть получены при применении нитроцементации. Нитроцементация позволяет ускорить процесс науглероживания и вести его при более низких температурах (порядка 840°), чем в случае цементации. Кроме того, при нитроцементации поверхностей слой насыщается азотом, что, в свою очередь, очень благотворно сказывается на коррозионной стойкости и износостойкости.

Исследования значительного количества деталей показали, что многими заводами-изготовителями бурильных молотков не нормируется или слабо контролируется наличие карбидной сетки в цементационном слое. Для деталей, подвергающихся ударной и особенно ударно-циклической нагрузке, карбидная сетка или сеточная ориентация карбидов в цементационном слое крайне нежелательна. Наличие карбидной сетки и сеточной ориентации карбидов в поверхностном слое резко снижает ударную вязкость и сопротивление ударно-усталостному разрушению.

Не всеми заводами учитывается значение чистоты обработки деталей для повышения их долговечности. Особенно велико значение чистоты обработки для деталей, работающих в условиях переменного циклического нагружения. Во многих случаях только за счет повышения чистоты поверхности можно повысить срок службы деталей в несколько раз.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. М. Хрущов, М. А. Бабичев. Исследование изнашивания сталей при трении об абразивную поверхность. Трение и износ в машинах. Сборник IX, АН СССР, 1954.
2. Г. В. Топоров. Влияние текстуры и исходных механических свойств на ударную усталость стали 40ХН. Труды сибирского физико-технического института, вып. 34, 1955.
3. Ю. Я. Фридман. Механические свойства металлов. Оборонгиз, 1952.
4. Н. Ф. Болховитинов. Величина зерна и свойства стали. Металлургиздат, 1943.
5. Д. В. Конвисаров. Износ металлов. ОНТИ, 1938.
6. М. С. Баранов. Исследование износостойкости гильз цилиндров из модифицированного и низколегированных чугунов. Изд. Коммунального хозяйства РСФСР, 1953.
7. Е. А. Суходольская. Материалы поршневых колец. Машгиз, 1953.
8. Б. Н. Середенко, В. И. Стеценко, Е. А. Марковский. Повышение износостойкости и срока службы машин, Машгиз, 1956.
9. Я. А. Лифшиц. Литейное производство, № 10, 1955.
10. В. Д. Туркин, М. В. Румянцев. Структура и свойства цветных металлов. Metallurgizdat, 1947.
11. Л. С. Мороз, С. С. Шурakov. Механическая природа прочности цементационной стали. Сборник работ. Проблемы конструкционной стали, Машгиз, 1949 г.